

## FMEA SEBAGAI ALAT ANALISA RISIKO MODA KEGAGALAN PADA *MAGNETIC FORCE WELDING MACHINE* ME-27.1

Iwan Setiawan

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, Kawasan Puspiptek, Serpong

### ABSTRAK

**FMEA SEBAGAI ALAT ANALISA RISIKO MODA KEGAGALAN PADA *MAGNETIC FORCE WELDING MACHINE* ME-27.1.** Salah satu tahapan dalam proses perakitan elemen bakar nuklir adalah pengelasan. Kualitas hasil las sangat ditentukan oleh keterampilan operator las dan keandalan alat las *Magnetic Force Welding* (MFW). Pemeliharaan yang berfokus pada keandalan atau *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah pemeliharaan untuk mencegah kerusakan dengan mengeliminasi penyebab kerusakan. *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) merupakan salah satu metode penting dalam RCM. FMEA bertujuan untuk mengetahui keandalan sistem, mengidentifikasi moda kegagalan, penyebab kegagalan, serta dampak kegagalan yang ditimbulkan untuk masing-masing komponen. Metoda yang digunakan adalah dengan memasukkan hasil perincian sampai pada tingkat komponen (*breakdown*) dari sub sistem *Magnetic Force Welding Machine* ME-27.1 ke dalam *FMEA Worksheet*. Kemudian dihitung RPN-nya (*Risk Priority Number*) sehingga dalam analisa risiko moda kegagalannya diperoleh antara 2 sampai dengan 6, yaitu risiko rendah. Dapat disimpulkan bahwa dalam skala *risk ranking rating*, risiko  $\leq 10$  adalah risiko kegagalan rendah, dan ini menyatakan bahwa *Magnetic Force Welding Machine* ME-27.1 cukup handal sebagai alat proses perakitan *pin* elemen bakar nuklir dalam proses pabrikasi elemen bakar nuklir.

Kata kunci: Pengelasan, Pemeliharaan, Kualitas, Pin

### PENDAHULUAN

Proses perakitan *pin* elemen bakar nuklir merupakan salah satu bagian atau tahapan proses dalam pabrikasi elemen bakar nuklir. Elemen Bakar Nuklir yang dipabrikasi di Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) adalah Elemen Bakar Nuklir tipe Cirene untuk reaktor HWR (*Heavy Water Reactor*). Dalam proses produksinya digunakan bahan-bahan yang mempunyai potensi bahaya, seperti bahan bersifat radioaktif dan bahan-bahan bersifat korosif, racun, iritasi, dan mudah terbakar. Bilamana bahan-bahan tersebut tidak ditangani secara hati-hati sesuai prosedur kerja, suatu kecelakaan dapat terjadi serta mengancam keselamatan personel dan lingkungannya sehingga dalam kegiatan produksi elemen bakar nuklir tersebut, keandalan alat sangat menentukan<sup>[1]</sup>.

Salah satu tahapan dalam proses perakitan elemen bakar nuklir adalah pengelasan, kualitas hasil las sangat ditentukan oleh keterampilan operator las dan keandalan alat las *Magnetic Force Welding Machine* ME-27.1 (MFW ME-27.1) lihat gambar 1.



Gambar 1. Mesin las *Magnetic force welding machine* ME-27.1

Program pemeliharaan yang intensif merupakan kunci penting untuk menjamin agar proses pengelasan berlangsung dengan lancar, selamat dan hasil memenuhi persyaratan kualitas. Penelusuran gangguan (*troubleshooting*) adalah sebuah proses mencari apa yang disebut *Smallest Replaceable Repairable Unit* (SRRU) atau bagian terkecil dari suatu kelompok yang dapat diganti atau diperbaiki dimana SRRU tersebut adalah yang menjadi penyebab suatu proses menjadi tidak berfungsi dengan benar (*failure*). Penelusuran gangguan dilakukan dimulai dari dokumen perangkat dan tanya jawab dengan operator atau pihak yang mengetahui asal usul penyebabnya mengapa perangkat menjadi tidak berfungsi<sup>[2]</sup>. Pemeliharaan berfokus keandalan atau *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yang merupakan cara untuk mengembangkan strategi pemeliharaan berdasarkan pada operasional, ekonomi, keselamatan dan lingkungan. *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) adalah salah satu metode penting dalam RCM.

## TEORI

RCM merupakan sebuah proses teknik logika untuk menentukan tugas-tugas pemeliharaan yang akan menjamin sebuah perancangan sistem kehandalan dengan kondisi pengoperasian yang spesifik pada sebuah lingkungan pengoperasian yang khusus. Penekanan terbesar RCM adalah konsekuensi atau risiko dari kegagalan jauh lebih penting dari karakteristik teknik itu sendiri. Pada kenyataannya pemeliharaan proaktif tidak hanya menghindari kegagalan tetapi lebih cenderung untuk menghindari risiko atau mengurangi kegagalan. Pemeliharaan berfokus Keandalan atau RCM mencegah kerusakan dengan mengeliminasi penyebab kerusakan. FMEA adalah

salah satu alat penting dalam RCM. FMEA menganalisis kerusakan dan dampaknya serta untuk menentukan komponen kritis, menyelesaikan masalah yang muncul pada malfungsi sistem peralatan. Secara formal RCM dapat didefinisikan sebagai sebuah proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk menjamin bahwa beberapa asset fisik dapat berjalan secara kontinyu melakukan fungsi yang diinginkan penggunaannya dalam konteks operasi sekarang. RCM mengarahkan pada penanganan item agar tetap handal dalam menjalankan fungsinya dengan tetap mengacu pada efektifitas biaya pemeliharaan. Dalam usaha meningkatkan probabilitas bahwa suatu peralatan (mesin) akan melakukan fungsinya sebagaimana mestinya selama umur ekonomisnya dengan pemeliharaan yang minimum. FMEA adalah suatu metode sistematis untuk mengidentifikasi moda kegagalan komponen, produk, proses atau sistem dan dampaknya dalam memenuhi keinginan dan spesifikasi konsumen. Aplikasi FMEA terutama dimaksudkan untuk mencegah cacat, meningkatkan keselamatan. Implementasi FMEA dilaksanakan pada tahap desain produk atau pada tahap pengembangan proses. FMEA pada produk atau proses yang telah ada juga membawa manfaat yang besar, bahkan FMEA telah digunakan sebagai alat utama dalam manajemen pemeliharaan berfokus kehandalan (RCM)<sup>[3]</sup>.

## **METODA**

### **Bahan:**

P&ID (*Process and Instrument Diagram*) dari *Magnetic Force Welding Machine* ME-27.1

### **Peralatan:**

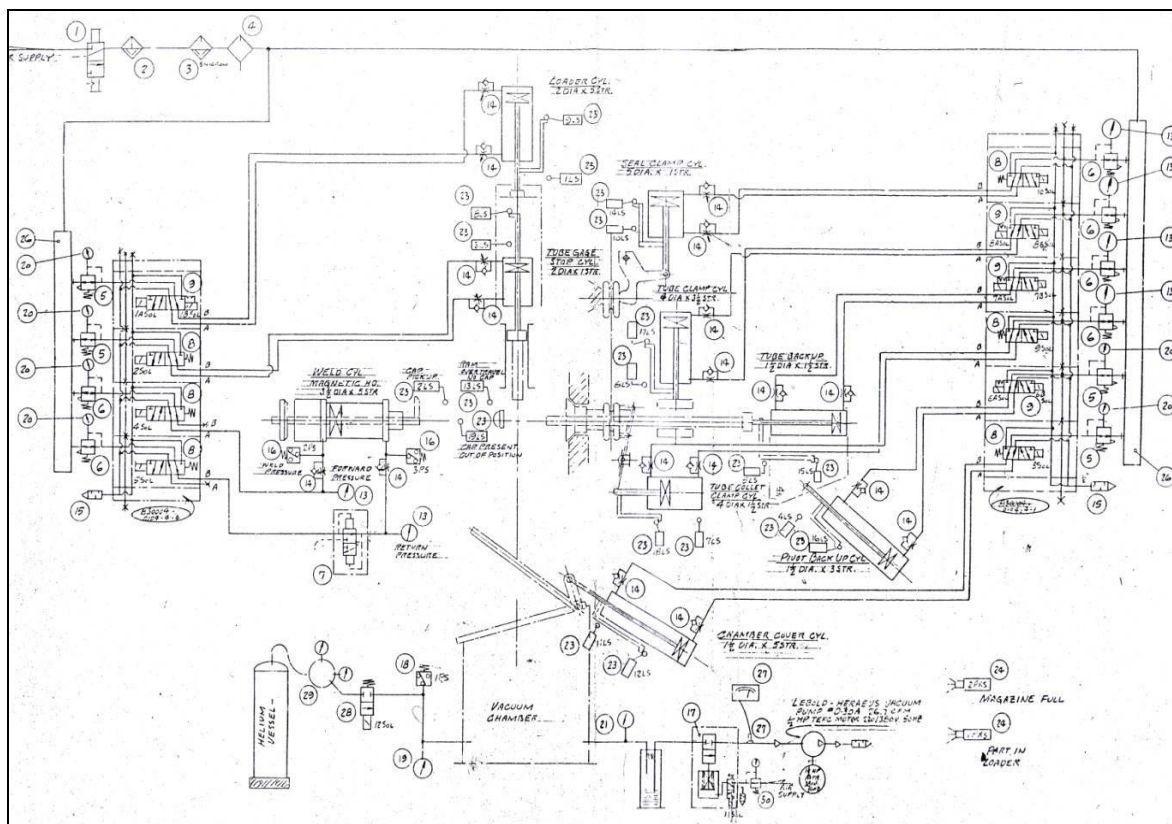
*Magnetic Force Welding Machine* ME-27.1

### **Cara kerja**

Sistem *Magnetic Force Welding Machine* ME-27.1 diidentifikasi. Secara rinci sampai pada tingkat komponen (breakdown). Kemudian struktur sistem *Magnetic Force Welding Machine* ME-27.1 dianalisis. Hasil perincian sub sistem *Magnetic Force Welding Machine* ME-27.1 dimasukkan ke dalam *FMEA Worksheet*.  $RPN = Risk Priority Number$  [ $RPN = S \times P \times D$ ] dihitung dengan mengalikan S (*Severity*, tingkat kerusakan), P (*Probability*, laju kegagalan) dan D (*Detectability*, kemampuan deteksi) menggunakan tabel pada Lampiran 1.

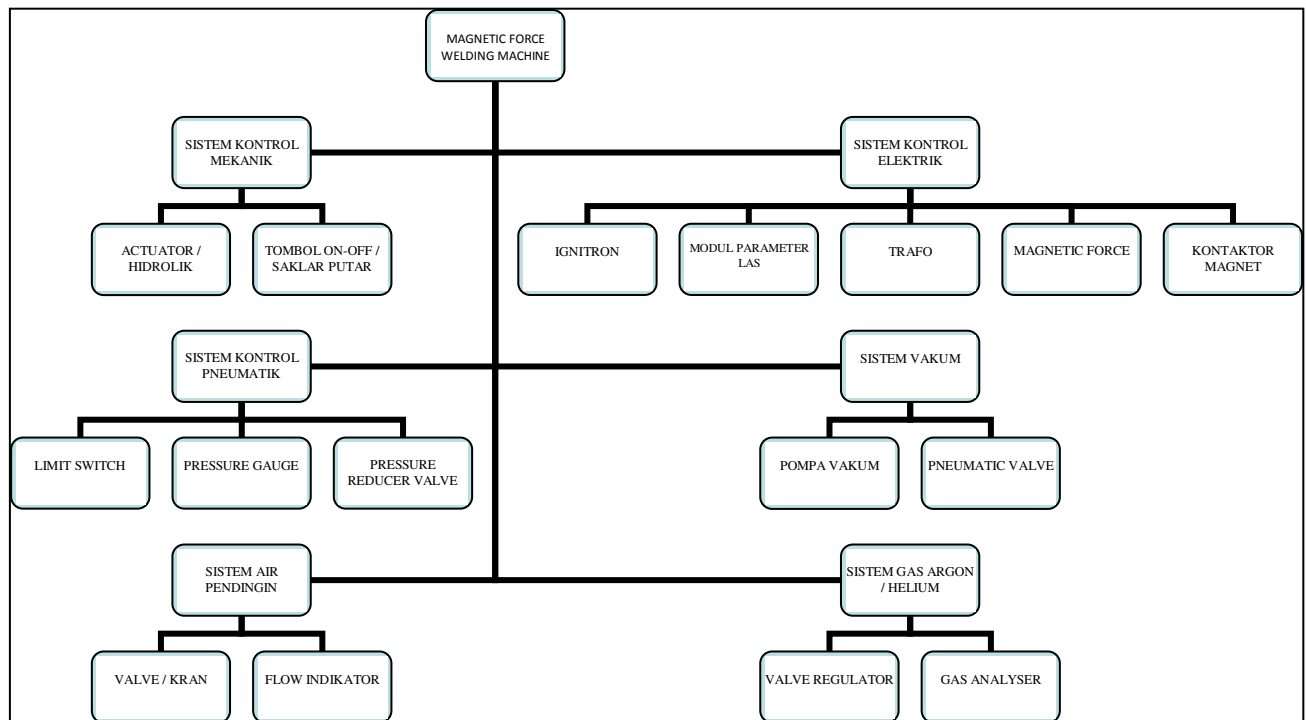
## HASIL DAN PEMBAHASAN

FMEA sering menjadi langkah awal dalam mempelajari kehandalan sistem. Kegiatan FMEA melibatkan banyak hal seperti melakukan reviu berbagai komponen, rakitan dan sub sistem untuk mengidentifikasi moda kegagalannya, penyebab kegagalannya, serta dampak kegagalannya yang ditimbulkan untuk masing-masing komponen. Berbagai moda kegagalan berikut dampaknya pada system, ditulis pada *FMEA Worksheet*. Daftar kontrol proses berdasarkan P&ID seperti pada Gambar 2 dibuat terlebih dahulu agar analisa moda kegagalan dapat disusun.



Gambar 2. P&ID (Process and Instrument Diagram)<sup>[4]</sup>  
Magnetic Force Welding Machine ME-27.1

Kemudian kontrol proses tersebut dibuat analisis struktur sistem seperti pada gambar 3.

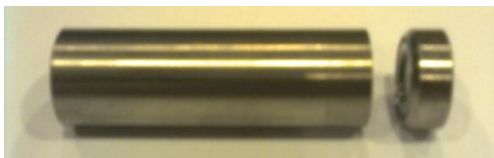
Gambar 3. Analisis struktur sistem *Magnetic Force Welding Machine* ME-27.1

Hasil perincian sub sistem *Magnetic Force Welding Machine* ME-27.1 dimasukkan ke dalam *FMEA Worksheet* untuk menghitung RPN seperti pada Lampiran 2. FMEA merupakan salah satu bentuk analisa kualitatif risiko dan secara umum tujuan penyusunan FMEA adalah untuk membantu dalam pemilihan desain alternative yang memiliki kehandalan dan keselamatan potensial tinggi, menjamin bahwa semua moda kegagalan yang dapat diperkirakan dan dampak yang ditimbulkannya terhadap kesuksesan operasional sistem telah dipertimbangkan, membuat daftar kegagalan potensial, serta mengidentifikasi dampak yang ditimbulkannya, mengembangkan kriteria awal untuk rencana dan desain pengujian besar serta untuk membuat daftar pemeriksaan sistem sebagai analisa kualitatif kehandalan dan ketersediaan, sebagai dokumentasi untuk referensi pada masa yang akan datang untuk membantu menganalisa kegagalan yang terjadi di lapangan serta membantu bila sewaktu-waktu terjadi perubahan desain sebagai data input untuk studi banding serta sebagai basis untuk menentukan prioritas pemeliharaan/ perawatan. Salah satu faktor yang penting dalam suksesnya penerapan FMEA adalah *timeliness* yaitu melakukannya sebelum kegagalan terjadi (*before the event*) dan bukan melakukan sesudah terjadi (*after the Fact*). Dalam implementasi FMEA ini salah satu tahap pengujian yang dilakukan adalah pengujian parameter pengelasan *Magnetic Force Welding Machine* ME-27.1

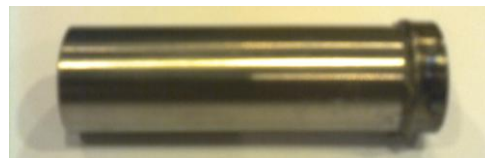
untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan standar yang diinginkan Tabel 1, hasil pengujian yang dilakukan adalah seperti pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Tabel 1. Parameter pengelasan *Magnetic Force Welding Machine* ME-27.1

Parameter Pengelasan	Batas Parameter
<i>Squeeze</i>	90 <i>cycles</i>
Hold	10 <i>cycles</i>
<i>Mag Force Neg Percent Current</i>	60 %
<i>Weld 1</i>	8 <i>cycles</i>
<i>Percent Current 1</i>	20 %
<i>Flux Reset</i>	2 <i>cycles</i>
<i>Percent Current Flux Reset 1</i>	20 %
<i>Weld Neg Percent Current</i>	20 %
<i>Force Delay</i>	90 <i>cycles</i>
<i>Magnetic Force 1</i>	8 <i>cycles</i>
<i>Percent Current Magnetic Force 1</i>	20 %



Gambar 4. Sampel pengelasan *end cap*



Gambar 5. Hasil pengelasan sampel dan kelongsong zirkaloy

Untuk mendapatkan hasil yang bagus FMEA harus dilakukan atau diterapkan sebelum potensial kegagalan dari proses atau produk telah terjadi dalam produk atau proses tersebut. Setelah dihitung *Risk Priority Number* (RPN) nya hasil penilaian dari analisa risiko kegagalan pada *Magnetic Force Welding Machine* ME-27.1 antara 2 sampai dengan 6 yaitu risiko kegagalan rendah dan ini menyatakan bahwa *Magnetic Force Welding Machine* ME-27.1 handal sebagai alat proses perakitan *pin* elemen bakar nuklir dalam pabrikasi elemen bakar nuklir.

## KESIMPULAN

FMEA *Worksheet* dibuat berdasarkan moda kegagalan setelah proses identifikasi dapat dilakukan dengan menguraikan sub-sistem sampai tingkat komponen. Setelah itu dihitung RPN-nya dengan hasil penilaian risiko antara 2 sampai dengan 6, yang berarti bahwa dalam skala risk ranking rating risiko  $\leq 10$  dengan risiko

kegagalan rendah. Dapat disimpulkan bahwa *Magnetic Force Welding Machine* ME-27.1 handal sebagai alat proses perakitan *pin* elemen bakar nuklir dalam pabrikasi elemen bakar nuklir.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ANONIM, Coaching Pelasan Tutup Ujung Pin EBN, Pusdiklat BATAN, Jakarta Tahun 2009.
- [2]. ACHMAD SUNTORO, "*Troubleshooting*". Pelatihan Pemeliharaan INNR, Pusdiklat BATAN, Jakarta Tahun 2011.
- [3]. BAMBANG HERUTOMO. "*Manajemen Pemeliharaan Berbasis Failure Mode and*
- [4]. ANONIM, *Effect Analysis*". Pelatihan Pemeliharaan INNR. Pusdiklat BATAN. Jakarta tahun 2011.

Lampiran 1Skala Penilaian untuk *Severity*<sup>[3]</sup>.

Ranking	Akibat / Effect	Kriteria Verbal	Akibat pada Produksi
1	Tidak ada akibat	Tidak mengakibatkan apa-apa, tidak memerlukan penyesuaian	Proses berada dalam kendali tanpa melakukan penyesuaian peralatan
2	Akibat sangat ringan	Mesin tetap beroperasi dengan aman, hanya terjadi sedikit gangguan peralatan yang tidak berarti. Akibat hanya diketahui oleh operator berpengalaman	Proses berada dalam pengendalian, hanya membutuhkan sedikit penyesuaian
3	Akibat ringan	Mesin tetap beroperasi dengan aman, hanya ada sedikit gangguan. Akibat diketahui oleh rata-rata operator	Proses telah berada diluar kendali, beberapa penyesuaian diperlukan
4	Akibat minor	Mesin tetap beroperasi dengan aman, namun terdapat gangguan kecil. Akibat diketahui oleh semua operator	Kurang dari 30 menit <i>downtime</i> atau tidak ada <i>downtime</i> sama sekali
5	Akibat moderat	Mesin tetap beroperasi normal, namun telah menimbulkan beberapa kegagalan produk. Operator merasa tidak puas karena tingkat kinerja berkurang	30-60 menit <i>downtime</i>
6	Akibat signifikan	Mesin tetap beroperasi dengan aman, tetapi menimbulkan kegagalan produk. Operator merasa sangat tidak puas dengan kinerja mesin	1-2 jam <i>downtime</i>
7	Akibat major	Mesin tetap beroperasi dengan aman, tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh. Operator merasa sangat tidak puas	2-4 jam <i>downtime</i>
8	Akibat ekstrem	Mesin tidak dapat beroperasi dan telah kehilangan fungsi utamanya	4-8 jam <i>downtime</i>
9	Akibat serius	Mesin gagal beroperasi, serta tidak sesuai dengan peraturan keselamatan kerja	Lebih besar dari 8 jam <i>downtime</i>
10	Akibat berbahaya	Mesin tidak layak dioperasikan, karena dapat menimbulkan kecelakaan secara tiba-tiba, dan hal ini bertentangan dengan peraturan keselamatan	Lebih besar dari 8 jam <i>downtime</i>

Skala *Risk Ranking*<sup>[3]</sup>.

Probability (Kebolehjadian)	Severity (Tingkat keparahan)					<b>RATING RISIKO</b> 5 = Risiko sangat rendah 10 = Risiko rendah 15 = Risiko moderat 20 = Risiko tinggi 25 = Risiko tidak dapat diterima
	1	2	3	4	5	
	2	4	6	8	10	
	3	6	9	12	15	
	4	8	12	16	20	
	5	10	15	20	25	



Lanjutan Lampiran 1Skala Penilaian Kejadian [*occurrence*] atau Frekuensi<sup>[3]</sup>.

Ranking	Kejadian	Kriteria Verbal	Tingkat Kejadian
1	Hampir tidak pernah	Kerusakan hampir tidak pernah terjadi	Lebih dari 10000 jam operasi mesin
2	Remote	Kerusakan jarang terjadi	6001-10000 jam operasi mesin
3	Sangat sedikit	Kerusakan yang terjadi sangat sedikit	3001-6000 jam operasi mesin
4	Sedikit	Kerusakan yang terjadi sedikit	2001-3000 jam operasi mesin
5	Rendah	Kerusakan yang terjadi pada tingkat rendah	1001-2000 jam operasi mesin
6	Medium	Kerusakan yang terjadi pada tingkat medium	401-1000 jam operasi mesin
7	Agak tinggi	Kerusakan yang terjadi agak tinggi	101-400 jam operasi mesin
8	Tinggi	Kerusakan yang terjadi tinggi	11-100 jam operasi mesin
9	Sangat tinggi	Kerusakan yang terjadi sangat tinggi	2-10 jam operasi mesin
10	Hampir selalu	Kerusakan selalu terjadi	Kurang dari 2 jam operasi mesin

Skala Penilaian untuk *Detectability*<sup>[3]</sup>.

Ranking	Akibat	Kriteria Verbal
1	Hampir pasti	Kontrol selalu dapat mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
2	Sangat tinggi	Kontrol memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
3	Tinggi	Kontrol memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
4	Moderately high	Kontrol memiliki kemungkinan "moderately high" untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
5	Moderate	Kontrol memiliki kemungkinan "moderate" untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
6	Rendah	Kontrol memiliki kemungkinan rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
7	Sangat rendah	Kontrol memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial kegagalan dan mode kegagalan
8	<i>Remote</i>	Kontrol memiliki kemungkinan " <i>remote</i> " untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
9	<i>Very remote</i>	Kontrol memiliki kemungkinan " <i>very remote</i> " untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
10	Tidak pasti	Kontrol akan selalu tidak mampu untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan

Lampiran 2*Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Worksheet**Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Worksheet*

No	Nama Item	Fungsi	Mode Kegagalan	Efek Kegagalan	Rating Risiko				Catatan [Perawatan]
					Sev	Prob	Det	Risk	
1	Sistem Kontrol Mekanik	Menggerakkan sistem mekanik Las	Mekanik pendukung tidak berfungsi	Tidak terjadi pelasan	1	2	1	2	Periksa sistem pneumatik dan aliran udara tekan
1.1	Aktuator / Hidrolik	Menggerakkan Main Window, Back Up Pivot dsb	Main Window, Back Up Pivot dsb tidak bergerak	Step / Langkah Pelasan tidak berjalan	1	2	1	2	Periksa kondisi fisik dan kebersihan Aktuator / Hidrolik
1.2	Tombol ON-OFF / Saklar Putar	Mengoperasikan Loader, Gage, RAM dsb	Loader, Gage, RAM dsb tidak bergerak	Step / Langkah Pelasan tidak berjalan	1	2	1	2	Periksa kondisi fisik Tombol ON-OFF / Saklar Putar
2	Sistem Kontrol Elektrik	Memberikan Input Power Elektrik	Input Power tidak ada	Mesin Tidak beroperasi	2	3	1	6	Periksa Kondisi MCB Pada Lemari Panel
2.1	Ignitron	Memberikan Arus tinggi untuk Pelasan	Arus terlalu rendah	Hasil Las tidak sempurna	2	2	1	4	Periksa kondisi Ignitron
2.2	Modul Parameter Las	Menentukan Parameter Las	Parameter Las tidak Standar	Hasil Las tidak Sempurna	2	2	1	4	Setting parameter Las sesuai dengan karakteristik bahan
2.3	Trafo	Memberikan tegangan untuk membangkitkan Arus tinggi pada ignitron	Tegangan tidak stabil	Hasil Las tidak Sempurna	1	2	1	2	Setting Trafo sesuai dengan karakteristik bahan
2.4	Magnetic Force	Penekan Tutup Ujung terhadap kelongsong	Magnetic Force tidak bergerak	Tidak terjadi pelasan	1	2	1	2	Periksa sistem pneumatik dan aliran udara tekan
2.5	Kontaktor Magnet	Penghubung power input untuk limit switch	Limit switch tidak berfungsi	Sistem mekanik Las tidak bergerak	3	2	1	6	Periksa sistem pneumatik, aliran udara tekan dan power input
3	Sistem Kontrol Pneumatik	Memberikan Supply udara tekan	Udara tekan tidak ada	Sistem Mekanik Las tidak bekerja	1	2	1	2	Periksa aliran udara tekan
3.1	Limit Switch	Menggerakkan Back Up, Tube, Collet, seal dsb	Back Up, Tube, Collet, seal dsb tidak bergerak	Step / Langkah Pelasan tidak berjalan	1	2	1	2	Periksa aliran udara tekan dan power input
3.2	Pressure Gauge	Kontrol Tekanan kerja sistem mekanik	Tekanan kerja turun	Step / Langkah Pelasan tidak berjalan	1	2	1	2	Periksa pemipaan / nipel dan aliran udara tekan

Lanjutan Lampiran 2*Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Worksheet**Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Worksheet*

3.3	Pressure Reducer Valve	Kontrol aliran udara	Aliran Udara Kurang	Step / Langkah Pelasan tidak berjalan	2	2	1	4	Periksa kondisi fisik PRV dan aliran udara tekan
4	Sistem Vakum	Memvakumkan chamber	Chamber tidak vakum	Hasil Las tidak sempurna	2	2	1	4	Periksa motor, pompa dan pneumatic valve
4.1	Pompa Vakum	Memvakumkan chamber	Pompa tidak berfungsi	Chamber tidak vakum	1	2	1	2	Periksa Motor Pompa dan power input
4.2	Pneumatik Valve	Membuka dan Menutup aliran vakum ke chamber	Pneumatik valve tidak berfungsi	Chamber tidak vakum	2	2	1	4	Periksa kondisi fisik pneumatic valve, aliran udara tekan dan power input
5	Sistem Air Pendingin	Mendinginkan Trafo	Air tidak mengalir	Panas berlebih pada Trafo	2	2	1	4	Periksa valve dan sistem aliran air pendingin sebelum dan sesudah MFW ME-27 dioperasikan
5.1	Valve / Kran	Membuka dan Menutup aliran air pendingin ke trafo	Air tidak mengalir	Panas berlebih pada Trafo	2	2	1	4	Periksa valve dan sistem aliran air pendingin dari Basement
5.2	Flow Indicator	Menunjukkan adanya aliran air pendingin	Air tidak mengalir	Panas berlebih pada Trafo	1	2	1	2	Periksa valve dan sistem aliran air pendingin dari Basement
6	Sistem Gas Argon/Helium	Menghindari oksidasi, saat dilakukan pelasan	Gas tidak mengalir	Hasil Las tidak sempurna	2	2	1	4	Periksa regulator pada tabung gas
6.1	Regulator	Kontrol Tekanan kerja gas Argon / Helium	Gas tidak mengalir	Hasil Las tidak sempurna	1	2	1	2	Periksa tabung gas
6.2	Gas Analyser	Kontrol gas Argon / Helium pada chamber	Gas Analyser tidak berfungsi	Hasil Las tidak sempurna	2	2	1	4	Periksa Gas Analyser dan aliran gas Argon / Helium